

Aarne Ritala

MAALAUISOLOSUHTEIDEN HALLINTA

Tekniikka ja liikenne
2013

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Aarne Ritala
Opinnäytetyön nimi	Maalausolosuhteiden hallinta
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	26
Ohjaaja	Marko Rantasalo

Ympäristölle haitallisia päästöjä vähentääkseen, vaihtaa Wärtsilä Finland Oy tuotteidensa pintamaalin liuotinhenteisestä vesiohenteiseksi. Vesiohenteisella maalilla maalattaessa on maalausammion ilmankosteutta ja lämpötilaa kyettävä koneellisesti hallitsemaan. Tässä työssä tutkitaan, minkälaisilla laitteilla ja toteutustavoilla Vaasan toimitusyksikön maalausammioiden maalausolosuhteita voidaan hallita.

Työtä aloittaessani perehdyin toimeksiantajani maalausammioihin sekä markkinoilla oleviin kosteutus- ja lämmityslaitteisiin. Olin yhteydessä useisiin laitetoimittajiin ja heidän asiantuntemustaan apuna käyttäen, valitsin parhaiten projektiin sopivia laitteita esiteltäväksi työni toimeksiantajalle.

Markkinoilta löytyy lukuisia erilaisia kosteutuslaitteita. Tutkimusteni pohjalta Wärtsilä Finland Oy:n maalausammioiden kosteutukseen soveltuu parhaiten korkeapaine- tai paineilmakosteuslaitteisto. Molemmat laitteistot sumuttavat vettä kosteutettavaan tilaan hienojakoisina pisaroina, jolloin vesi haihtuu ilmaan nopeasti. Lämmitys voidaan toteuttaa käyttäen kaukolämpö- tai sähkötoimisia kiertoilmakoneita. Koska maalaustilat ovat räjähdysvaarallisia tiloja, on kaikkien niihin asennettavien laitteiden oltava näihin tiloihin hyväksyttyjä.

Kaikista laitteistoista selvitettiin hankinta-, asennus- ja käyttökustannukset. Kosteuslaitteiden hinnoissa ei ollut suuria eroja. Lämmitysjärjestelmistä sähkötoimisen laitteiston hankintahinta oli selvästi alhaisempi, mutta kaukolämpötoimisen laitteiston käyttökustannukset taas olivat huomattavasti alhaisemmat. Laitteistojen hinnat ja muut valintoihin vaikuttavat tekijät toimitettiin työni toimeksiantajalle, joka tekee niiden perusteella päätöksen hankittavista laitteista.

ABSTRACT

Author	Aarne Ritala
Title	Control of painting circumstances
Year	2013
Language	Finnish
Pages	26
Name of Supervisor	Marko Rantasalo

To cut down harmful emissions for environment Wärtsilä Finland Oy will change their products surface finishing paint from solvent-based to waterborne. When painting with waterborne paint it has to be able to control the humidity and temperature of painting chambers. This thesis examines how and with what kind of devices the painting chambers conditions can be controlled in the Vaasa delivery centre.

At the beginning of this thesis Wärtsilä's painting chambers and moisturizing and heating devices were familiarised with. Many device suppliers contacted, as well. With help of their expertise the best devices for this project were chosen to be presented for Wärtsilä's employees.

There are many kinds of moisturizing devices in the market. In this case the best way to moisturize the painting chamber is to use a device that works with high pressured water or compressed air. Both devices spray water in very small drops to the painting chamber. That makes sure that water fades quickly to the air. Heating can be executed with heaters that use hot water or electricity to heat the air. The painting chambers are explosive atmospheres, so all devices installed inside them must be approved to be used in explosive atmospheres.

All device prices, assembly costs and operating costs were determined. The prices of both moisturizing devices were almost the same. The heating device which uses electricity is cheaper to buy but operating costs are half lower with the device using hot water. Prices, costs and other facts affecting the selection of devices were listed and given to Wärtsilä. On the basis of this list they will choose what kind of devices they will acquire.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	3
2	WÄRTSILÄ.....	4
3	MAALAUUS.....	6
4	ILMANKOSTEUS.....	9
	4.1 Absoluuttinen ilmankosteus.....	9
	4.2 Suhteellinen ilmankosteus	9
	4.3 Kastepiste.....	10
	4.4 Kosteutustarpeen laskeminen	11
5	KOSTEUTUSLAITTEET	13
	5.1 Kosteutuslaitteiden toimintaperiaate	14
	5.1.1 Korkeapainekosteutus	14
	5.1.2 Paineilmakosteutus	14
	5.2 Kosteutuslaitteiden vertailu	15
6	LÄMMITYS	17
	6.1 Lämmitystarpeen laskeminen	17
	6.2 Räjähdyksvaaralliset tilat.....	19
	6.3 Lämmityslaitteet.....	20
	6.4 Lämmityslaitteiden vertailu	22
7	YHTEENVETO	23
	LÄHTEET.....	25

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1.	Maalausammio	s. 7
Kuvio 2.	3D-malli maalausammista	s. 21
Taulukko 1.	Kosteutuslaitteiden vertailu	s.15
Taulukko 2.	Lämmityslaitteiden vertailu	s. 22

1 JOHDANTO

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöjen vähentämiseksi aiotaan Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan toimitusyksikössä eli Delivery Centre Vaasassa (DCV), vaihtaa moottorien pintamaali liuotinhenteisestä vesiohenteiseen. Tällä toimenpiteellä VOC -päästöt vähenevät pintamaalauksen osalta noin 90 % /10/ /11/. Vesiohenteisen maalin käyttö tuo mukanaan käytännön haasteita. Maalattaessa ja maalin kuivumisen aikana, on maalaustilojen olosuhteita pystyttävä hallitsemaan tarkemmin kuin liuotinhenteisellä maalilla maalattaessa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, miten ja minkälaisilla laitteilla ilmankosteutta ja lämpötilaa pystytään maalaustiloissa hallitsemaan. Omien tutkimusteni, alan asiantuntijoiden lausuntojen, sekä laitteistojen hintojen ja käyttökustannusten perusteella, päätämme yhdessä työni toimeksiantajan kanssa, minkälaisilla laitteilla ja toteutustavoilla maalausolosuhteita tullaan Vaasan toimitusyksikössä hallitsemaan.

2 WÄRTSILÄ

Wärtsilä perustettiin 12.4.1834 Karjalaan, Tohmajärven kunnassa sijaitsevan kosken rannalle. Yritys aloitti toimintansa sahana, kunnes vuonna 1851 sahan tilalle rakennettiin Wärtsilän rautatehdas. 1900-luvun alussa Wärtsilästä oli tullut koskien tuottamaa sähköenergiaa hyväksikäyttävä nykyaikainen sulattamo ja terästehdas.

Vuonna 1930 Wärtsilä laajensi toimintaansa galvanointialalle ja avasi galvanoitua rautalankaa tuottavan tehtaan. Wärtsilä rantautui Vaasaan vuonna 1936, kun se osti Onkilahden konepajan. Samalla vuosikymmenellä Wärtsilä laajensi toimintaansa ostamalla Kone- ja Siltarakennus Oy:n, jolloin se sai haltuunsa Helsingin ja Turun telakat. Kaupan myötä Wärtsilä sai omistukseensa myös Kone- ja Siltarakennus Oy:n paperikonetehtaan ja Abloy lukkojen valmistuksen. Vuoteen 1950 mennessä Wärtsilä oli ostanut myös Arabian keramiikkatehtaan sekä Nuutajärven lasitehtaan.

Tänä päivänä Wärtsilän tunnetuin tuote on dieselmoottori. Niiden tuotanto alkoi vuonna 1938 ja ensimmäinen Wärtsilän dieselmoottori valmistui 1942 Turussa. Vuonna 1978 Wärtsilä osti ruotsalaiselta Boforsilta sen dieselmoottoritoiminnan. Tämän kaupan myötä yritys aloitti kansainvälisen tuotantotoiminnan. Kymmenen vuotta myöhemmin Wärtsilä laajensi dieselmoottorituotantoaan Intiaan ja Khopoliin.

Vuonna 1990 Wärtsilä fuusioitui Lohjan kanssa. Tämä fuusioitunut yritys sai nimekseen Metra Oy Ab. Dieselmoottoreita valmistava osasto kulki kuitenkin edelleen nimellä Wärtsilä Diesel. Metra alkoi keskittyä vankemmin dieselmoottoreiden valmistukseen ja osti useita siihen liittyviä yrityksiä. Samalla Metra myi tehtaitaan muilta toimialoilta. Vuonna 1997 Wärtsilä Diesel, New Sulzer Diesel ja Diesel Ricerchen yhdistettiin Metran toimesta. Tämä uusi yhtiö sai nimekseen Wärtsilä NSD Corporation. Vielä ennen vuosituhannen loppua Wärtsilä NSD Corporation osti useita merenkulkuun liittyviä yrityksiä, merkittävimpana moottoritehdas Italian Triestessä.

Vuonna 2000 Metra Oy Ab:n nimi muutettiin Wärtsiläksi. Yhtiö jatkoi keskittymistään merenkulkualalle ja osti siihen liittyviä yrityksiä ympäri maailmaa, myyden edelleen osuuksiaan muilla toimialoilla toimivista yrityksistä. Wärtsilä on 2000-luvulla myös rakentanut useita uusia tehtaita, varaosavarastoja, sekä huoltoyksiköitä useisiin maihin, esimerkiksi Kiinaan, Hollantiin ja Brasiliaan. /17/

Tänä päivänä Wärtsilä on maailman suurin merenkulun ja energiamarkkinoiden voimaratkaisujen toimittaja. Yhtiön liikevaihto vuonna 2012 oli 4.7 miljardia euroa. Työntekijöitä Wärtsilällä on tällä hetkellä noin 18 900. Yritys on levittäytynyt ympäri maailmaa ja sillä on 170 toimipistettä 70:ssä eri maassa. Wärtsilän organisaatio on jaettu kolmeen ryhmään: Ship Power, Power Plants ja Services. Ship Power toimittaa asiakkailleen laivojen voimantuottojärjestelmiä, sekä niiden hallintalaitteita. Power Plants rakentaa erikokoisia ja eri käyttötarkoituksiin suunniteltuja voimalaitoksia asiakkaan toiveiden mukaan. Services tarjoaa Wärtsilän sekä muiden saman alan toimittajien tuotteiden huolto- ja kunnostuspalveluita. /18/

3 MAALAUUS

Kiristyvien ympäristömääräysten johdosta Wärtsilä Finland Oy on vaihtamassa Vaasan toimitusyksikössä valmistamiensa moottoreiden pintamaalin liuotinhenteisestä vesiohenteiseen. Uuden maalin valintaprosessi on vielä kesken, mutta valinnan tuloksesta riippumatta uusi vesiohenteinen maali aiheuttaa noin 90 % vähemmän VOC – päästöjä kuin vanha liuotinhenteinen /10/ /11/.

Moottorin valmistus alkaa lohkon koneistuksella, jota seuraa moottorin kokoonpano. Kun kokoonpano on valmis, siirtyy moottori koeajoon. Koeajossa moottorilla ajetaan asianmukaiset luovutusajot. Koeajon jälkeen moottori siirretään viimeistelytiloihin. Viimeistelyssä moottorille tehdään avaustarkastus ja puhdistus. Vielä ennen maalausta moottorista peitetään muovein ja teipein ne osat, joita ei ole tarkoitettu maalattavaksi.

DCV:ssä valmistetaan moottoreita kolmella eri sylinterikoolla: W20, W32 ja W34. Moottorityypin numero-osa kertoo moottorin männän halkaisijan senttimetreinä. Jokaiselle moottorikoolle on oma viimeistelytilansa. Kaikissa viimeistelytiloissa on kuitenkin sama toimintaperiaate. Moottorin ollessa valmis maalattavaksi, nostetaan se maalauspaikalle, joita on viimeistelystä riippuen jonossa kaksi tai neljä. Tämän jälkeen moottorin päälle ajetaan kuvion 1 mukainen liikuteltava maalausammio. Se on ohutseinäinen, suorakaiteen muotoinen ja muistuttaa autotallia, jossa on ovet molemmissa päädyissä. Maalausammiot ovat tilavuudeltaan sen kokoisia, että moottorin ollessa sen sisällä, jää maalarille vielä noin puolitoista metriä työskentelytilaa moottorin ympärille.



Kuvio 1. Maalaukammio

Ennen maalauksen aloittamista maalari sulkee kammion ovet ja asettaa ilmanvaihdon päälle. Maalaustekniikkana käytetään ruiskumaalausta, joten ilmanvaihdon maalaukammioissa on oltava voimakas. Ilmanpoistokoneet imevät ilmaa pois kammioden lattiatasosta ja puhaltavat sen suodattimien kautta ulkoilmaan. Korvausilma kammioihin saadaan niiden katoissa sijaitsevista aukoista, suoraan viimeistelyhallien ilmatilasta. Ilman lämpötila ja kosteus maalaukammioissa ovat siis täysin vastaavat kuin viimeistelyhalleissa, joiden sisällä kammiot sijaitsevat. Kun maalaus on valmis, sammuttaa maalari

ilmanvaihdon, avaa maalausammion ovet ja siirtää ammion pois moottorin päältä. Tämän jälkeen poistetaan moottorista suojamuovit ja teipit, sekä suoritetaan viimeiset tarkastustoimenpiteet, jonka jälkeen moottori on valmis toimitettavaksi asiakkaalle. /3/

4 ILMANKOSTEUS

Vesiohenteisella maalilla maalattaessa tulee suhteellisen ilmankosteuden olla 20 - 70 %. Ilman kastepistelämpötilan on oltava vähintään 3 celsiusastetta alhaisempi kuin maalattavan pinnan lämpötila. /11/

4.1 Absoluuttinen ilmankosteus

Absoluuttisella ilmankosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan veden tai vesihöyryn painon suhdetta kyseessä olevan ilman tilavuuteen. Se siis kertoo, kuinka monta kilogrammaa vettä on kuutiometrissä ilmaa. Absoluuttisen kosteuden voi laskea jakamalla ilman sisältämän veden massan ilman tilavuudella.

$$AH = \frac{m_v}{V_k} \quad (1)$$

AH = absoluuttinen kosteus [kg/m^3]

m_v = ilman sisältämän veden massa [kg]

V_k = ilman tilavuus [m^3]. /2/ /14/

4.2 Suhteellinen ilmankosteus

Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se pystyy sitomaan itseensä vettä. Suhteellinen ilmankosteus kertoo prosentteina ilmassa olevan veden määrän, verrattuna siihen kuinka paljon saman lämpöinen kylläinen ilma sisältäisi vettä. Kylläisellä ilmalla tarkoitetaan ilmaa, joka on saavuttanut suurimman mahdollisen absoluuttisen ilmankosteuden vallitsevassa lämpötilassa, eli sen suhteellinen ilmankosteus on 100 %. Ilman suurimman absoluuttisen kosteuden eri lämpötiloissa voi lukea kirjallisuudesta löytyvistä taulukoista. Suhteellisen ilmankosteuden voi laskea alla olevalla kaavalla.

$$RH = \frac{AH}{AH_{max}} \times 100\% \quad (2)$$

RH = suhteellinen ilmankosteus [%]

AH = absoluuttinen ilmankosteus [kg/m^3]

AH_{max} = suurin mahdollinen absoluuttinen ilmankosteus vallitsevassa lämpötilassa [kg/m^3]. /2/ /14/

Talvisaikaan suhteellinen ilmankosteus on ulkotiloissa suurimmillaan. Se johtuu siitä, että ilman suurin mahdollinen absoluuttinen kosteus on matalissa lämpötiloissa pienempi kuin korkeissa. Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ilman suhteellisen kosteuden ollessa mahdollisimman korkealla (100 %), voidaan kaavoja 1 ja 2 käyttämällä laskea, että tällöin absoluuttinen kosteus on $2.15\text{ }g/m^3$. Kun tämä ilma tuodaan sisätiloihin ja lämmitetään huonelämpötilaan ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), laskee sen suhteellinen kosteus. Tällaisessa tilanteessa suhteellinen ilmankosteus sisätiloissa on vai noin 12.5 %. Mikäli ulkolämpötila laskee vielä alemmaksi kuin esimerkissä tai suhteellinen ilmankosteus ulkona on matalampi kuin 100 %, laskee lämmitetyn sisäilman suhteellinen ilmankosteus vieläkin alhaisemmaksi kuin 12.5 %. On siis selvää, että ilmaa on etenkin talvisaikaan sisätiloissa maalattaessa koneellisesti kosteutettava, jotta maalintoimittajien asettamat rajoitukset suhteelliselle ilmankosteudelle täyttyvät maalaushetkellä.

4.3 Kastepiste

Lämpötilaa, jossa suhteellinen ilmankosteus on 100 %, kutsutaan kastepisteeksi. Tässä tilassa ilma ei voi sitoa enempää vesihöyryä itseensä, eli ilma on kylläistä. Kylläisen ilman jäähtyessä, alkaa sen sisältämä vesihöyry tiivistyä kasteeksi ja pisaroiksi. /7/ Tästä syystä maalintoimittajat ovat asettaneet ehdon, että ilman kastepisteen on oltava vähintään 3 celsiusastetta pienempi kuin maalattavan pinnan lämpötila. Ilman kastepisteen voi laskea seuraavalla kaavalla /11/.

$$T_d = T - \frac{(100 - RH)}{5} \quad (3)$$

T_d = kastepistelämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

T = ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

RH = suhteellinen ilmankosteus [%]. /15/

Ilman lämpötila Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan tuotetehtailla on noin 22 celsiusastetta. Maalattava pinta on saman lämpöinen. Kastepistelämpötilan on siis oltava pienempi kuin 19 celsiusastetta, jotta maalausolosuhteet ovat maalintoimittajien ohjeiden mukaiset. Mikäli suhteellinen ilmankosteus olisi maalaushetkellä 50 %, saadaan kastepistelämpötilaksi edellä olevaa kaavaa käyttäen 12 celsiusastetta. Mikäli suhteellinen ilmankosteus nousee maalin toimittajan antamaan ylärajaan asti (70 %), on kastepistelämpötila tuolloin 16 celsiusastetta. Kun suhteellinen ilmankosteus on maalaushetkellä maalin toimittajan ohjeiden mukainen ja ilman lämpötila on normaalitasolla, ei maalattavalle pinnalle muodostu kastetta tai pisaroita.

4.4 Kosteutustarpeen laskeminen

Kosteutuslaitteita hankittaessa on ensin selvitettävä, kuinka paljon kosteutettavaan ilmaan täytyy sitoa vettä, jotta saavutetaan haluttu suhteellinen ilmankosteus. Tämä laskutoimitus kertoo myös sen, minkä kokoinen kosteutuslaite tarvitaan. Kosteutuslaitteiden valmistajat ilmoittavat laitteidensa kapasiteetin sen mukaan, kuinka monta kilogrammaa vettä ne pystyvät tunnissa syöttämään kosteutettavaan ilmaan.

Wärtsilä Finland Oy:n maalausammioiden ilmanvaihtokoneiden ilmapirran kapasiteetti on $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Tämä tarkoittaa sitä, että tunnin aikana kosteutettavaa ilmaa on kopin sisällä yhteensä noin $25\,000 \text{ m}^3$. Viimeistelyhallin suhteellisesta ilmankosteudesta riippumatta, halutaan maalausammion suhteellisen ilmankosteuden olevan noin 30 %. Ilman lämpötila viimeistelyhalleissa on 22 celsiusastetta. On siis laskettava kuinka monta kilogrammaa vettä sisältää 22 celsiusasteinen, $25\,000$ kuutiometrin kokoinen ilmamäärä, jonka suhteellinen ilmankosteus on 30 %. Kaavoja 1. ja 2. käyttäen lasketaan kosteutukseen tarvittava vesimäärä seuraavasti.

$$RH = 30 \%$$

$$AH_{max} = 19.4 \text{ g/m}^3$$

$$V_k = 25\,000 \text{ m}^3$$

$$AH = RH * AH_{max} / 100 \% = 30 \% * 19.4 \text{ g/m}^3 / 100 \% = 5.82 \text{ g/m}^3$$

$$m_v = AH * V_k = 5.82 \text{ g/m}^3 * 25\,000 \text{ m}^3 = 145\,500 \text{ g} = 145.5 \text{ kg}$$

Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli maalausammioon saapuvan korvausilman suhteellinen ilmankosteus on pienimmillään, eli 0 %, täytyy kopin sisältämään ilmaan sitouttaa tunnin aikana 145.5 kg vettä. Hankittavan kosteutuslaitteen kapasiteetin tulee siis olla suurempi kuin 145.5 kg / h.

5 KOSTEUTUSLAITTEET

Kun ilmaa halutaan kosteuttaa, täytyy siihen saada haihdutettua vettä. Kaikki kosteutuslaitteet toimivatkin noudattaen tätä periaatetta. Veden haihtumisen nopeuttamiseksi, kosteutuslaitteet tuovat veden kosteutettavaan tilaan yleensä hienojakoisina pisaroina tai vesihöyrynä.

Markkinoilta löytyy kosteutuslaitteita kaikenkokoisten tilojen kosteutukseen. Pienimmät laitteet on tarkoitettu asuinhuoneiden kosteutukseen, kun taas isoimmilla laitteilla kyetään kosteuttamaan tuhansien neliöiden kokoisia teollisuushalleja. Laitteiden toimintaperiaatteet poikkeavat myös toisistaan. Osa laitteista toimittaa kosteuttavan veden suoraan kosteutettavaan tilaan. Toiset laitteet kosteuttavat tilaan saapuvan ilman jo ilmastointikanavassa, jolloin ilma on jo kosteutettu sen saapuessa tilaan. Kuten aiemmin mainittua, eroja laitteistoista löytyy myös siitä, missä muodossa ne toimittavat veden kosteutettavaan tilaan. Yleisimmät vaihtoehdot ovat hienojakoisina pisaroina tai vesihöyrynä. Suurimmat eroavaisuudet laitteissa ovat siinä, miten ne saavat veden pieniksi pisaroiksi tai miten ne muuttavat veden nesteestä höyryksi. Laitteistot, jotka jakavat kosteuttavan veden pieniksi pisaroiksi, käyttävät siinä apuna esimerkiksi paineistettua ilmaa tai kosteuttavan veden paineistusta. Veden muuttamiseksi nesteestä höyryksi, voidaan apuna käyttää esimerkiksi sähkövastuksia tai elektrodeja.

Selvittäessäni minkälaisilla kosteutuslaitteilla DCV:n maalausammioita on mahdollista kosteuttaa, käytin apuna kosteutuslaitteiden toimittajien ammattitaitoa. Olin yhteydessä useampiin laitetoimittajiin. Toimitin heille tarvittavat tiedot kosteutettavasta tilastamme ja sain vastaukseksi minkälaisilla heidän valikoimassaan olevilla laitteilla maalausammioimme ilmaa on mahdollista kosteuttaa ja millä laitteella päästään parhaaseen lopputulokseen. Lopuksi valitsin kaksi parhaiten tilanteeseemme soveltuvaa kosteutuslaitetta tarkempaan vertailuun ja esiteltäväksi työni toimeksiantajalle.

5.1 Kosteutuslaitteiden toimintaperiaate

Tarkempaan vertailuun valitsin korkeapainekosteutus- sekä paineilmakosteutuslaitteet. Tässä kappaleessa kerrotaan näiden laitteiden toimintaperiaatteet ja se, miten laitteistot tulisi asentamaan DCV:n tiloihin.

5.1.1 Korkeapainekosteutus

Laitteiston keskusyksikössä sijaitseva sähkötoiminen korkeapainepumppu paineistaa kosteutuksessa käytettävän veden. Vesi johdetaan letkuja pitkin kosteutussuuttimille. Paineistettu vesi puristetaan läpi suuttimien kärjissä olevista pienistä rei'istä, jolloin kosteutettavaan tilaan leviää hienojakoinen vesisumu. Kosteutussuuttimet asennettaisiin maalauskammion yläpuolelle, viimeistelyhallin seinälle. Laitteisto siis kosteuttaisi viimeistelyhallin ilmaa maalauskammion yläpuolella, mistä kammioon imetään ilmaa sen katossa olevien korvausilma-aukkojen kautta. Korvausilma-aukkojen läheisyyteen asennetaan kosteusanturi, miltä saamiensa tietojen perusteella laitteen keskusyksikkö säätelee kosteutusta päälle tai pois päältä.

Kosteutuslaitteiston keskusyksikkö sijoitetaan viimeistelyhallin seinustalle. Laitteisto vaatii toimiakseen 230 V sähköjännitteen, sekä liitännän vesijohtoverkkoon. Kosteutuksessa ei voida kuitenkaan käyttää vesijohtoverkon vettä sellaisenaan, koska sen sisältämä kalkki tukkii kosteutussuuttimet. Keskusyksikön ohkeen on asennettava vedenpehmennyslaite, joka vaatii lisäksi viemäriliitännän. /5/

5.1.2 Paineilmakosteutus

Laitteiston tuottaman vesisumun pisarakoko on äärimmäisen pieni, minkä ansiosta kosteutussuuttimet voidaan asentaa maalauskammion sisäpuolelle. Näin ollen laitteisto kosteuttaa vain tarvittavaa aluetta eli maalauskammiota. Kosteutussuuttimet asennetaan kammion pitkille seinille lähelle katonrajaa. Suuttimille tuodaan laitteen keskusyksiköltä erillisiä letkuja pitkin paineilmaa ja vettä. Suuttimien kärjissä paineilma ja vesi ammutaan vastakkain, jolloin

kosteutettavaan tilaan leviää vesisumu. Keskusyksikkö säätelee kosteutusta päälle ja pois, kammion seinille asennettujen kosteusantureiden avulla.

Koska maalauskammiota on siirreltävä maalauspaikkojen välillä ja kosteutussuuttimet ovat kammion sisäpuolella, asennetaan laitteiston keskusyksikkö kammion ulkoseinään. Näin ollen koko kosteutuslaitteisto kulkee maalauskammion mukana sen liikkeessä. Toimiakseen keskusyksikkö vaatii 230 V sähköjännitteen sekä vesi- ja paineilimaliitännät. Sähköjännitteen keskusyksikkö saa maalauskammion sähköverkosta. Vesi- ja paineilimaliitännät asennetaan jokaiselle maalauspaikalle erikseen. Kun maalari siirtää kammion maalauspaikalle, käy hän kytkemässä siellä olevat vesi- ja paineilimaliittimet kiinni kosteutuslaitteen keskusyksikköön. /1/

5.2 Kosteutuslaitteiden vertailu

Jotta työni toimeksiantaja voisi tehdä päätöksen hankittavasta laitteistosta, pyysin molempien laitteiden toimittajilta tarjouspyynnöt laitteistoista sekä niiden asennuksesta. Selvitin myös laitteistojen tarvitsemien liitäntöjen asennushinnat. Lopuksi kokosin valintaan vaikuttavat tekijät alla olevaan vertailutaulukkoon. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Kosteutuslaitteiden vertailu. /1/ /5/ /6/ /7/ /8/

1	Toimintaperiaate	Paineilma	Korkeapaine
2	Toimittaja	Oy Caldomix Ab	Brautek Oy
3	Laitteiston hinta asennettuna	11 115 €	11 960 €
4	Liitännät	sähkö, 2*vesi ja 2*paineilma	sähkö, vesi ja viemäri
5	Liitäntöjen asennushinta	2 000 €	1 750 €
6	Hinta yhteensä	13 115 €	13 710 €
7	Kostutettava tila	Maalauskoppi	Viimeistelyhalli
8	Keskusyksikön asennuspaikka	Maalauskammion ulkoseinä	Viimeistelyhallin seinusta
9	Viilentävä vaikutus	Kyllä	Kyllä
10	Veden esikäsittelyn tarve	Ei	Kyllä
11	Huollon tarve	Ei	Kyllä
12	Lähin huoltomies	Tanska	Seinäjäki
13	Helppokäyttöisen pi maalarille		X
14	Suuremmat ylläpitokustannukset		X
15	Tarkempi kosteuden hallinta	X	

Kosteutuslaitteiden vertailutaulukon kaksi ensimmäistä riviä kertovat kosteuslaitteen toimintaperiaatteen ja sen toimittajan yrityksen nimen. Rivillä 3 ovat laitteistojen hinnat. Hintoihin sisältyy kosteuslaitteisto, sen asennus sekä käyttöönotto. Riveillä 4 ja 5 kerrotaan millaisia liitäntöjä kosteuslaitteiden keskusyksiköt vaativat ja mitä näiden liitäntöjen asennus tulee maksamaan. Seuraavalla rivillä on yhteenlaskettu hinta laitteistojen sekä niiden tarvitsemien liitäntöjen hankinnasta, eli koko laitteiston hankintahinta. Riveiltä 7 ja 8 näkee laitteistojen kosteuttaman tilan, sekä niiden keskusyksikköjen asennuspaikat. Rivillä 9 kerrotaan, että molemmilla laitteistoilla on kosteutettavaan ympäristöön viilentävä vaikutus. Tämä johtuu siitä, että kosteuttavan veden haihtuminen ilmaan vaatii energiaa. Tämän energian se saa kosteutettavan ilman lämpöenergiasta. Paineilmalaitteisto käyttää vesijohtoverkon vettä sellaisenaan, kun taas korkeapainelaitteisto vaatii veden käsittelyä eli pehmennystä. Huollon tarve on vain korkeapainelaitteistolla, koska sen korkeapainepumppu ja vedenpehmennyslaite vaativat määräaikaishuollot tietyin aikavälein. Riviltä 12 selviää, missä sijaitsee lähin ammattitaitoinen huoltoasentaja kyseessä oleville laitteille. /5/

Taulukon kolmella alimmalla rivillä on omiin mielipiteisiini perustuvaa vertailua laitteistoista. Korkeapainelaitteiston käyttö vaatii maalariilta vain sen päälle kytkemistä. Paineilmalaitteistoa käyttäessä joutuu maalari kytkemään vesi- ja paineilmaliitännät keskusyksikköön aina siirtäessään maalausammiota. Tästä johtuen korkeapainelaitteisto on helppokäyttöisempi. Korkeapainelaitteistolla on myös suuremmat ylläpitokustannukset, koska se vaatii määräaikaishuoltoa ja sen kosteuttama tila on suurempi kuin paineilmalaitteistolla. Paineilmalaitteiston kosteussuuttimet ja kosteusanturit sijaitsevat maalausammion sisäpuolella, joten sillä saavutetaan tarkempi kosteuden hallinta.

6 LÄMMITYS

Maalausammioiden ilman lämpötilaa on kyettävä nostamaan kahdesta eri syystä. Kesäisin suhteellinen ilmankosteus saattaa viimeistelyhalleissa nousta liian korkeaksi. Maalintoimittajien ohjeiden mukaan, vesiohenteisella maalilla maalattaessa täytyy suhteellisen ilmankosteuden olla välillä 20 – 70 % /11/. Ilman lämmittämisestä löytyy ratkaisu tähän. Kun maalausammion ilmaa lämmitetään, laskee samalla sen suhteellinen ilmankosteus. Tämä johtuu siitä, että lämpimämpi ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän vettä.

Maalausammioiden ilman lämmittämisen tärkein tarkoitus on kuitenkin vesiohenteisen maalin kuivumisprosessin nopeuttaminen. Vesiohenteinen maali on täysin kuivunut silloin, kun kaikki sen sisältämä vesi on haihtunut pois. Ilman lämmitessä kasvaa sen kyky sitoa itseensä vettä. Tästä syystä vesiohenteisen maalin kuivumisaika lyhenee, jos lämpötilaa kasvatetaan. Maalausammion ilman lämpötila on normaalioloissa noin 22 °C. Tässä lämpötilassa 80 μ m paksun maalikerroksen kuivuminen kosketuskuivaksi kestää yli 1,5 tuntia /11/. Mikäli maalausammion ilman lämpötila nostetaan 40 °C:een, on saman paksuinen maalikerros kosketuskuiva jo 15 minuutin kuluttua /11/.

6.1 Lämmitystarpeen laskeminen

Ennen lämmityslaitteiden hankkimista on selvitettävä, kuinka suuri lämmitysteho tarvitaan maalausammion lämmittämiseen. Tätä varten on selvitettävä maalausammion tilavuus ja kuinka monta celsiusastetta lämpötilaa halutaan nostaa. Maalintoimittajien ohjeiden ja työni toimeksiantajan mielipiteiden pohjalta päädyttiin mitoittamaan lämmityslaitteisto niin, että lämpötilaa nostetaan 20:llä celsiusasteella. Maalin kuivuessa lämpötila maalauskopissa olisi siis noin 40 °C. Tarvittava lämmitysenergia voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$E = c * m * \Delta T \quad (4)$$

$$E = \text{energia [kJ]}$$

$$c = \text{ominaislämpökapasiteetti [kJ / (kg * °C)]}$$

$$\Delta T = \text{lämpötilan muutos [°C]}. /13/$$

Lämmitettävän ilman massa saadaan kertomalla ilman tilavuus sen tiheydellä. Eri aineiden tiheydet löytyvät kirjallisuuden taulukoista.

$$m = \rho * V \quad (5)$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$\rho = \text{tiheys [kg / m}^3\text{]}$$

$$V = \text{tilavuus [m}^3\text{]}. /16/$$

Ominaislämpökapasiteetti on lukuarvo, joka kertoo kuinka paljon lämpöenergiaa aine varaa itseensä jokaista lämpötilayksikköä kohden. Eri aineiden ominaislämpökapasiteetit selviävät kirjallisuudesta löytyvistä taulukoista. Maalaukskammion lämmittämiseen tarvittava energia lasketaan seuraavasti:

$$c = 1,01 \text{ kJ / (kg * °C)}$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg / m}^3$$

$$V = 692 \text{ m}^3$$

$$E = c * \rho * V * \Delta T = 1,01 \text{ kJ / (kg * °C)} * 1,225 \text{ kg / m}^3 * 692 \text{ m}^3 * 20 \text{ °C} \\ = 17124 \text{ kJ}.$$

Lämmitystehon laskemista varten tulee tietää, kuinka nopeasti lämpötilan on noustava haluttuun arvoon. Jotta maalin kuivuminen alkaisi mahdollisimman nopeasti maalauksen päätyttyä, lasketaan lämmitysteho niin, että lämpötilan nousuun kuluu 5 minuuttia.

$$P = E / t \quad (6)$$

$$P = \text{teho [kW]}$$

$E = \text{energia [kJ]}$

$t = \text{aika [s]. /13/}$

$E = 17124 \text{ kJ}$

$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$

$P = E / t = 17124 \text{ kJ} / 300 \text{ s} = 57 \text{ kW.}$

Mikäli maalausammio olisi täydellisesti eristetty ja sisältäisi lämmitettäessä vain ilmaa, olisi tarvittava lämmitysteho 57 kW. Ammio sisältää lämmitettäessä tietysti maalatun moottorin, jonka pääasiallinen materiaali on valurauta. Valurauta lämpenee huomattavasti ilmaa hitaammin, joten lämmitystehoa tarvitaan enemmän. Yhdessä työni toimeksiantajan kanssa arvioimme tarvittavaksi lämmitystekoksi noin 90kW.

6.2 Räjähdyksivaaralliset tilat

DCV:n maalausammiot ovat Ex-, eli räjähdyksivaarallisia tiloja. Maalausruiskulla maalattaessa kaikki ruiskutettu maali ei tartu maalattavalle pinnalle. Osa maalista jää leijumaan ympäröivään ilmaan. Moottoreiden pohjamaalin ollessa liuotinhenteistä, pääsee myös liuotinhöyryjä haihtumaan maalausammioon. Yhdessä maalausammiossa olevan ilman kanssa nämä aineet muodostavat räjähdyksikelpoisen ilmaseoksen.

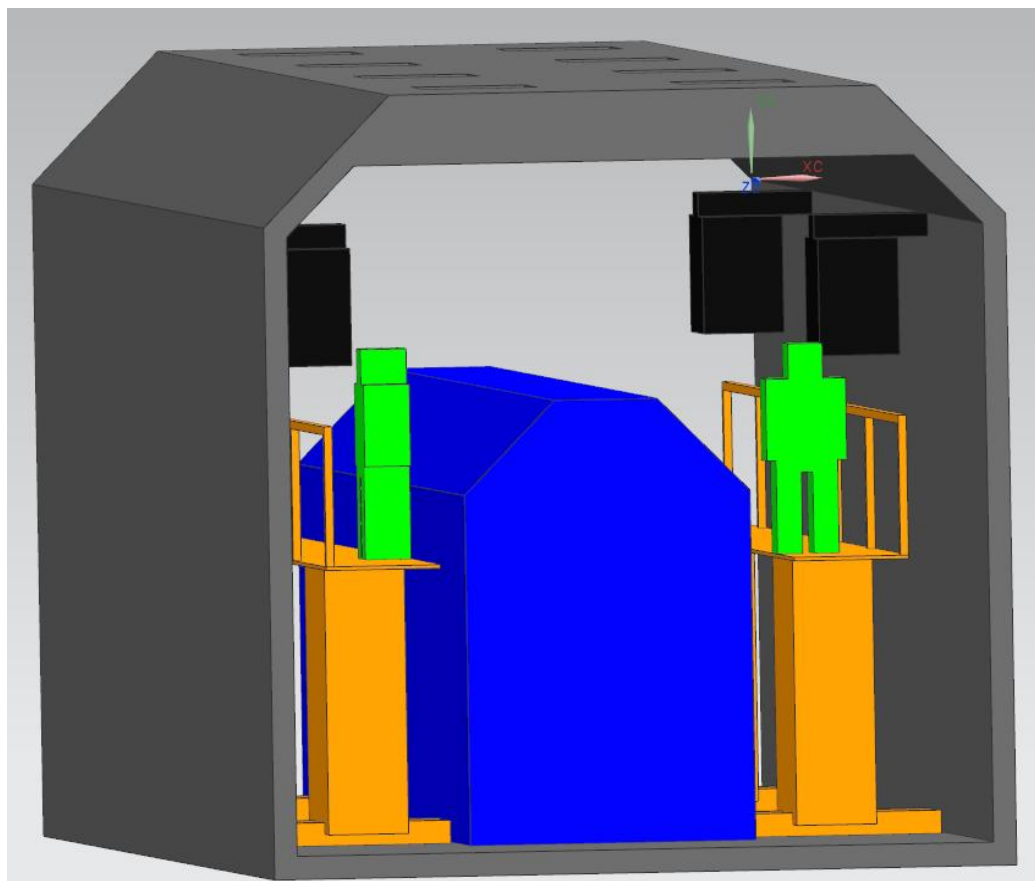
Työnantajalla on velvollisuus ensisijaisesti estää räjähdyksivaarallisten ilmaseosten syntyminen. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, jolloin työnantajalla on velvollisuus estää syntyneiden räjähdyksivaarallisten seosten syttyminen. Syttyminen saattaa aiheutua esimerkiksi kipinästä tai jonkin laitteen korkeasta pintalämpötilasta. Laki määrääkin, että kaikki räjähdyksivaarallisiin tiloihin asennettavat laitteet ja koneet tulee olla Ex-hyväksytyjä. Tällaisten laitteiden suunnittelussa, valmistuksessa ja luokittelussa on otettu huomioon, että niiden riski sytyttää räjähdyksikelpoinen ilmaseos on erittäin pieni. Maalausammioiden

lämmitysjärjestelmien suunnittelussa on siis otettava huomioon, että voidaan käyttää vain räjähdysvaarallisiin tiloihin suunniteltuja laitteita. /12/

6.3 Lämmityslaitteet

Kuten asuinkiinteistöjenkin, niin myös maalausammioiden lämmityksessä voidaan lämmitysenergian lähteenä käyttää sähköä tai lämmintä vettä, eli kaukolämpöä. Markkinoilta löytyy räjähdysvaarallisten tilojen lämmitykseen sähkö- tai kiertovesitoimisia pattereita, kanavalämmittimiä ja erilaisia lämpöpuhaltimia. Lämmityksen aikana ilma ei maalausammiossa liiku. Tästä syystä patterit eivät sovellu lämmityslaitteiksi. Ne vaatisivat toimiakseen erilliset puhaltimet, jotka kierrättäisivät ilmaa ammiossa. Kanavalämmittimetkään eivät sovellu, koska ammioissa ei ole ilmakeinoja joihin ne voitaisiin asentaa. Toimiakseen kanavalämmittimille olisi rakennettava erilliset ilmakeinat sekä ilmakeinot, jotka kierrättäisivät ammion ilmaa kanavissa.

Valitsin tarkempaan selvitykseen ja työni toimeksiantajalle esiteltäviksi sähkö- ja kaukolämpötoimiset kiertoilmakeinot. Kiertoilmakeinon on yleensä suorakaiteen muotoinen laatikko. Se imee ilmaa sisäänsä koneen takapuolelta, lämmittää ilman sisällään ja puhalttaa sen ulos koneen etupuolelta. Kiertoilmakeinoita tarvitaan useita, jotta saavutetaan haluttu lämmitysteho (90 kW). Suunnittelin lämmityksen toteutettavaksi neljällä kiertoilmakeinolla. Koneet asennetaan ammion pitkille seinille, mahdollisimman korkealla, kuvion 2 mukaisesti. Mustat kappaleet esittävät kiertoilmakeinoita, sininen kappale on maalattava moottori ja keltaiset kappaleet esittävät maalaustelineitä, mahdollisimman ylös nostettuina. Kuvioista näkee, että kiertoilmakeinoiden asennus kopin sisäpuolelle on mahdollista. Kuvion 2 mukaisesti asennettuna, kiertoilmakeinot kuitenkin häiritsevät maalareiden työskentelyä. Koneet olisi myös mahdollista asentaa ammion ulkopuolelle. Tästä kuitenkin syntyy lisäkustannuksia, koska tällöin ammion seiniin joudutaan tekemään aukkoja ja koneiden imuilmalle rakentamaan kanavia.



Kuvio 2. 3D-malli maalaukammioista

Koska kammio on liikuteltava, on lämmitysenergian siirtäminen kiertoilmakoneille haastavaa. Mikäli valitaan sähkökäyttöiset kiertoilmakoneet, tuodaan sähköteho kammiolle riippukaapelilla viimeistelyhallin sähköjakokeskuksesta. Kaapeli kiinnitetään kammion yläpuolella olevaan kiskoon. Kammion ollessa siirrettynä toiseen ääripäähän, on kaapeli kireällä kiskon myötäisesti. Kun kammio siirretään vastakkaiseen ääripäähän, asettuu kaapeli kiskon alla poimuille. Mikäli kammio päätetään lämmittää kaukolämpötoimisilla kiertoilmakoneilla, tuodaan lämmin vesi kammiioon riippukaapelin lailla asennetulla kumisella riippuletkulla. Kammion yläpuolella olevaan kiskoon on asennettava kaksi letkua, yksi tulovedelle ja yksi paluuviedelle.

6.4 Lämmityslaitteiden vertailu

Pyysin tarjoukset sekä sähkö- että kaukolämpötoimisista kiertoilmakoneista. Selvitin molempien laitteistojen asennushinnat ja kustannukset lämmitysenergian tuomisesta maalausammioille. Lämmityslaitteiden käyttökustannukset ovat suuresta energiankulutuksesta johtuen merkittävät, joten ne vaikuttavat laitevalintaan ratkaisevasti. Laskin molempien laitteistojen käyttökustannukset vuositasonalla. Lopuksi kokosin kaikki valintaan vaikuttavat tekijät alla olevaan valintataulukkaan. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Lämmityslaitteiden vertailu. /4/ /9/

1	Lämmitysenergia	Kaukolämpö	Sähkö
2	Toimittaja	Oy Teknocalor Ab	Oy Meyer Vastus Ab
3	Lämmitysteho/kone	25kW	23kW
4	Koneiden tarve	4 kpl	4kpl
5	Kokonaislämmitysteho	100kW	92kW
6	Hinta/kone	5 900 €	7 150 €
7	Koneiden hinta yhteensä	23 600 €	28 600 €
8	Asennus	32 500 €	19 600 €
9	Hinta yhteensä	56 100 €	48 200 €
10	Käyttökustannus tunnissa (92kW)	4,6 €/h	7,82 €/h
11	Käyttökustannus vuodessa	552 €	938 €

Taulukon 2 kahdelta ensimmäiseltä riviltä selviää kyseessä olevan kiertoilmakoneen käyttämä lämmitysenergiälähde, sekä koneen toimittajan yrityksen nimi. Rivit 3 – 5 kertovat kiertoilmakoneen lämmitystehon, tarvittavien koneiden lukumäärän ja koneiden yhteistehon. Loppuosasta taulukkoa selviävät hinnat, koskien koneiden hankintaa, asennusta ja käyttökustannuksia. Sähkötoimisen lämmityslaitteiston hinta asennettuna on 7 900 euroa halvempi kuin kaukolämpötoimisen. Kaukolämpötoimisen laitteiston käyttökustannukset ovat kuitenkin pienemmät ja 20 vuoden käytön jälkeen siitä tulee halvempi vaihtoehto.

7 YHTEENVETO

Maalintoimittajien ohjeiden mukaan maalattaessa vesiohenteisella maalilla, täytyy suhteellisen ilmankosteuden olla 20 – 70 %. Suhteellinen ilmankosteus kertoo prosentteina kuinka paljon ilmassa on vettä verrattuna samanlämpöiseen ilmaan, joka sisältää niin paljon vettä kuin mahdollista. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi sisältää vettä. Maalintoimittajien mukaan ilman lämpötilalla on myös vaikutus maalausprosessiin. Maalin kuivuminen nopeutuu huomattavasti, kun lämpötilaa nostetaan korkeammaksi kuin normaali huoneenlämpö (20 °C).

Talvisaikaan suhteellinen ilmankosteus sisätiloissa saattaa laskea jopa alle 10 %:n. Ilmaa on siis kosteutettava, jotta maalintoimittajien ohjeet täyttyvät. Ilmaa kostutetaan sitomalla siihen vettä. Wärtsilä Finland Oy:n Vaasan toimitusyksikön maalausammioiden kosteutukseen soveltuu parhaiten korkeapaine- tai paineilmakosteutusjärjestelmä. Molempien laitteistojen toimintaperiaate on hyvin samanlainen: ne suihkuttavat veden kosteutettavaan tilaan hienojakoisina pisaroina, jolloin vesi haihtuu ilmaan tehokkaasti. Laitteistojen hinnat ovat hyvin lähellä toisiaan. Eroavaisuuden ovat laitteistojen sijoittelussa, käytön hankaluudessa ja niiden kosteuttavassa tilassa. Itse suosittelisin työni toimeksiantajalle paineilmakosteuslaitetta, sen yksinkertaisuuden, huoltovapauden ja tarkan kosteuden hallinnan takia.

Vesiohenteisen maalin kuivuessa on lämpötila maalausammiossa nostettava 30 minuutin ajaksi noin 40 celsiusasteeseen. Lämpöenergian lähteenä voidaan käyttää joko sähköä tai kaukolämpöä, eli lämmitys on toteutettavissa joko sähkö- tai kaukolämpötoimisilla kiertoilmakoneilla. Koneet asennettaisiin maalausammion sisäpuolelle, seinille lähelle katonrajaa. Kaukolämpöä energianlähteenä käyttävän laitteiston hankintahinta on selvästi suurempi. Käyttökustannukset sillä ovat kuitenkin vain noin puolet sähkötoimisen laitteiston käyttökustannuksista. Korkeasta hankintahinnasta huolimatta, suosittelisin työni toimeksiantajalle hankittavaksi kaukolämpötoimisia kiertoilmakoneita. Kaukolämpö on nykyaikaisempi ja ympäristöystävällisempi energianmuoto.

Lisäksi kaukolämpölaitteiston odotettu elinikä on pidempi kuin sähkötoimisella laitteistolla.

Työni tavoitteena oli antaa työni toimeksiantajalle erilaisia toteutusvaihtoehtoja ilmankosteuden ja lämpötilan hallintaan heidän maalausammioissaan. Lopputuloksena annoin Wärtsilä Finland Oy:lle kaksi vaihtoehtoista ratkaisua kosteuden hallintaan, sekä kaksi vaihtoehtoa lämmityksen toteuttamiseen maalausammioissa. Kaikista ratkaisuvaihtoehdoista selvitettiin hankinta-, asennus- ja käyttökustannukset. Myös muut laitevalintoihin vaikuttavat tekijät tuotiin työni toimeksiantajan tietoon. Mielestäni työn tavoitteet saavutettiin ja uskon, että työni toimeksiantajalle on työstäni hyötyä heidän hankkiessaan kosteutus- ja lämmityslaitteistoja maalausammioihinsa.

LÄHTEET

- /1/ Englund, M. 2013. Toimitusjohtaja. Oy Caldomix Ab. Tapaaminen. 11.4.2013.
- /2/ Inkinen, P., Tuohi, J. 1999. Momentti 1 insinöörifysiikka. 395-398. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy.
- /3/ Jakobsson, J. 2013. Development & Maintenance Manager. Wärtsilä Finland Oy. Tehdaskierros ja haastattelu. 28.2.2013.
- /4/ Luoma, M. 2013. Oy Teknocalor Ab. Email matti.luoma@teknocalor.fi. 27.3.2013. Tulostettu 13.5.2013.
- /5/ Päivärinta, J. 2013. Toimitusjohtaja. Brautek Oy. Tapaaminen. 10.4.2013.
- /6/ Pöyry, P. 2013. YIT. Kiinteistötekniikka. Email pekka.poyry@yit.fi 6.5.2013. Tulostettu 8.5.2013.
- /7/ Tarjous. Brautek Oy. 15.4.2013.
- /8/ Tarjous. Oy Caldomix Ab. 15.3.2013.
- /9/ Tarjous. Oy Meyer Vastus Ab. 8.4.2013.
- /10/ Tikkurila. Tuoteseloste. 2010. Viitattu 27.2.2013.
http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden_tuotteet/tuoteselosteet_ja_ktt_t/temalac_ml_90.3933.shtml.
- /11/ Tikkurila. Tuoteseloste. 2011. Viitattu 27.2.2013.
http://www.tikkurila.fi/teollinen_maalaus/metalliteollisuus/metalliteollisuuden_tuotteet/tuoteselosteet_ja_ktt_t/fontecryl_sc_50.3933.shtml.
- /12/ Tukes. Opas. 2003. ATEX, Räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus. Viitattu 10.5.2013. http://www.tukes.fi/tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/atex_rajahdeopas.pdf.
- /13/ Wikipedia. Artikkel. Fysiikan oppikirja, lämpö. 2012. Viitattu 10.5.2013. http://fi.wikibooks.org/wiki/Fysiikan_oppikirja/L%C3%A4mp%C3%B6.
- /14/ Wikipedia. Artikkel. 2012. Viitattu 5.3.2013. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kosteus>.
- /15/ Wikipedia. Artikkel. 2012. Viitattu 6.3.2013. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kastepiste>.
- /16/ Wikipedia. Artikkel. 2013. Viitattu 10.5.2013. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Tiheys>.

/17/ Wärtsilä. Yhtiön historia. 2013. Viitattu 17.4.2013.
<http://www.wartsila.fi/fi/about/yhtio-johto/Historia>

/18/ Wärtsilä. Wärtsilä lyhyesti. 2013. Viitattu 17.4.2013.
<http://www.wartsila.fi/fi/about/yhtio-johto/yhtiorakenne>